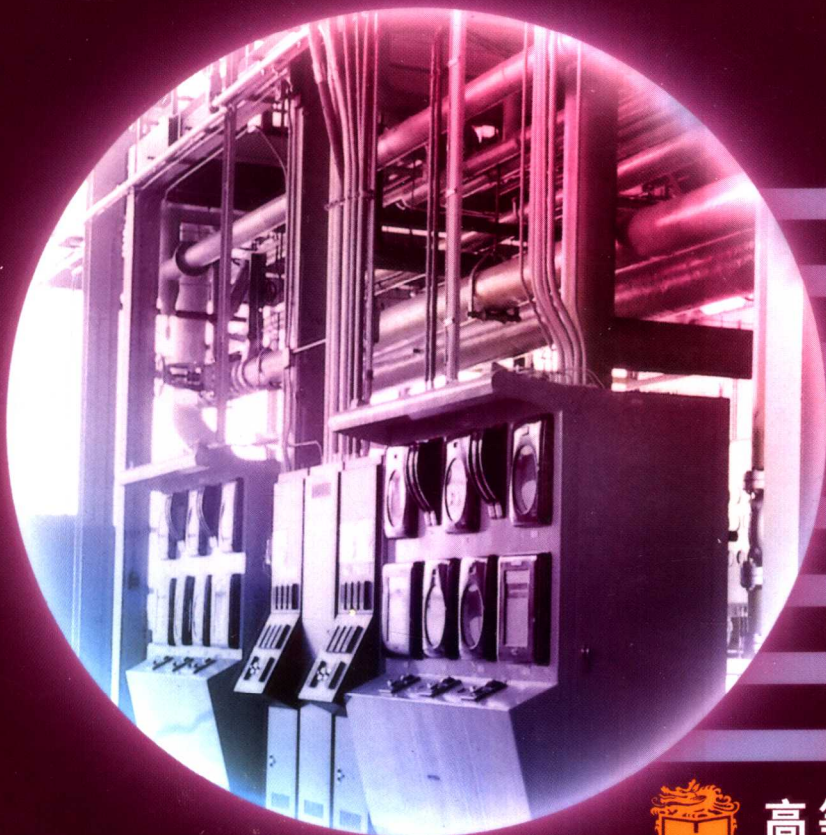




教育部 高职高专规划教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

工厂电气控制技术

张运波 主编



高等教育出版社

教育部高职高专规划教材

工厂电气控制技术

张运波 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是教育部高职高专规划教材,是在充分汲取了高等工程专科教育多年来的改革成果的基础上编写而成的。全书紧密结合工厂实际情况,注重介绍目前应用较多的新型低压电器、工厂常用的电气控制线路及典型电气设备,并从工程应用角度出发,介绍了电气控制系统的设计、安装与调试方法,同时配有实例和较多的习题。

全书共6章,主要内容有主电路常用的低压电器、控制电路常用的电器元件、继电器接触式自动控制系统、典型生产机械电器控制线路、电气控制系统的设计与安装、电气控制实训等。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的“工厂电气控制设备”、“工厂电气控制技术”等课程的教材,也可供有关专业师生、从事现场工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工厂电气控制技术/张运波主编. —北京:高等教育出版社, 2001(2004重印)

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-04-009835-0

I. 工… II. 张… III. 工厂-电气控制-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第07821号

工厂电气控制技术

张运波 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京印刷二厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 14.25
字 数 330 000

版 次 2001年7月第1版
印 次 2004年4月第4次印刷
定 价 24.70元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

前 言

本书是根据高职高专的培养目标及高职高专电类规划教材编写会议研究制定的编写大纲而编写的。编写中充分汲取了高等工程专科教育多年来的改革成果,强调应用性和实践性。书中紧密结合工厂实际情况,注重介绍目前应用较多的新型低压电器、工厂常用的电气控制线路及典型电气设备。

“工厂电气控制技术”是一门实践性很强的专业课。本书从应用角度出发,在介绍电磁式低压电器基础知识的基础上,按主电路与控制电路电器将低压电器进行分类,在了解各种电器基本原理的情况下,重点介绍了各种低压电器的作用、应用场合、主要技术参数、现场使用较多的国产和进口产品型号以及选择、整定、使用与维护方法;在了解电气原理图的绘图规则的基础上,介绍了组成电器控制线路的基本规律及现场中使用较多的交直流电动机的典型起动、制动、行程、调速控制线路等;为了提高学生的应用能力,较详细地介绍了工业现场中电器控制线路的分析方法,作为应用选择了几种典型的生产机械进行分析;叙述了继电-接触器自动控制系统的设计和安装方法,包括电气原理图的设计、电器布置图的设计、安装接线图的设计、参数计算与元器件的选择以及电控柜安装的一般步骤与方法、注意事项以及调试方法等;通过实训,加强实际工作能力的培养。为了使学生学完后就能会做,本书在介绍各种方法后,都列举了实例。

本书可作为高职高专、成人高等学校的“工厂电气控制设备”、“工厂电气控制技术”等课程的教材,也可供有关专业师生、从事现场工作的技术人员参考。

全书共分六章,由长春工程学院张运波主编,并编写了第3、6章,第1、2章由长春工程学院蒋彬编写,第4章由长春工程学院林海波编写,第5章由长春工程学院刘淑荣编写。

本书由华中理工大学电力系陈本孝教授主审,审阅过程中提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中缺点和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2000年10月于长春

目 录

第 1 章 主电路中常用的低压电器	1	第 4 章 典型生产机械的电气控制	128
1.1 低压电器的作用与分类	1	4.1 电气控制线路的读图方法	128
1.2 电磁式低压电器的基础知识	2	4.2 桥式起重机的电器控制	133
1.3 刀开关	12	4.3 轧钢车间辊道的电器控制	163
1.4 组合开关	16	4.4 钻床的电器控制	166
1.5 低压断路器	17	习题	171
1.6 熔断器	21	第 5 章 电气控制系统的设计与安装	173
1.7 接触器	28	5.1 电气控制系统设计的主要内容、一般程序及基本原则	173
习题	37	5.2 电气原理线路的设计步骤和方法	183
第 2 章 控制电路中常用的电器元件	39	5.3 电器元件布置图及电气安装接线图的设计	192
2.1 概述	39	5.4 电气控制系统的安装与调试	195
2.2 电磁式继电器	40	5.5 电气控制系统设计举例	200
2.3 时间继电器	44	习题	207
2.4 热继电器	48	第 6 章 电气控制技术实训	209
2.5 速度继电器	53	实训项目 1 低压电器的识别	209
2.6 干簧继电器	54	实训项目 2 交直流电压继电器动作电压的整定	209
2.7 固态继电器	55	实训项目 3 万能转换开关的使用	210
2.8 主令电器	59	实训项目 4 低压电器的选择	211
2.9 信号灯	67	实训项目 5 根据电气原理图绘制电气接线图	211
习题	68	实训项目 6 基本控制线路的接线练习	213
第 3 章 继电接触式自动控制系统	70	实训项目 7 典型生产机械电气控制线路的分析	213
3.1 电气控制系统图的绘制规则和常用符号	70	实训项目 8 专用棒齿铣床电气控制系统设计	218
3.2 组成电气控制线路的基本规律	82	参考文献	219
3.3 三相异步电动机起动控制线路	88		
3.4 三相异步电动机制动控制线路	99		
3.5 三相调速异步电动机控制线路	109		
3.6 行程控制线路	114		
3.7 直流电动机起、制动控制线路	120		
习题	125		

第1章 主电路中常用的低压电器

内容提要 本章首先介绍了电磁式低压电器的基础知识,包括电磁机构和触点系统及其故障原因和预防措施,然后介绍了电流较大的主电路中常用的刀开关、组合开关、低压断路器、熔断器、接触器等电器的结构、基本工作原理、作用、应用场合、主要技术参数、典型产品、图形符号和文字符号以及选择、整定、使用和维护方法等。

1.1 低压电器的作用与分类

电器是一种能够根据外界信号的要求,手动或自动地接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节作用的电气设备。简言之,电器就是一种能控制电的设备。

电器按其工作电压等级可分成高压电器和低压电器。低压电器通常是指用于交流额定电压 1 200 V、直流额定电压 1 500 V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。本书仅介绍电力拖动控制系统中常用的低压电器。

电力拖动控制系统一般分成两大部分。一部分是主电路,由电动机和接通、断开、控制电动机的接触器主触点等电器元件组成,一般主电路的电流较大;另一部分是控制电路,由接触器线圈、继电器等电器元件组成,它的任务是根据给定的指令,依照自动控制系统的规律和具体的工艺要求对主电路系统进行控制,控制电路的电流较小。由此可见,主电路和控制电路对电器元件的要求不同,为使读者有一个比较明确的概念,本章和下一章将分别对主电路和控制电路所使用的低压电器元件分别进行讨论。

低压电器的用途广泛,作用多样,品种规格繁多,原理结构各异。为了概括地了解这些低压电器,从以下几个方面加以分类。

一、按操作方式分

1. 手动电器 由人工直接操作才能完成任务的电器称为手动电器,如刀开关、按钮和转换开关等。

2. 自动电器 指不需人工直接操作,按照电的或非电的信号自动完成接通、分断电路任务的电器称为自动电器,如低压断路器、接触器和继电器等。

二、按用途分

1. 低压配电电器 主要用于低压供电系统,如刀开关、低压断路器、转换开关和熔断器等。

2. 低压控制电器 主要用于电力拖动控制系统,如接触器、继电器、控制器、控制按钮、行程开关、主令控制器和万能转换开关等。

三、按工作原理分

1. 电磁式电器 根据电磁感应原理来工作的电器,如交直流接触器、电磁式继电器等。

2. 非电量控制电器 电器的工作是靠外力或非电物理量的变化而动作的电器。如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、压力继电器和温度继电器等。

其中电磁式电器在电气控制线路中使用量较大,其类型也很多,并且各类电磁式电器在工作原理和结构上基本相同。为此,下面将首先介绍电磁式低压电器的基础知识。

1.2 电磁式低压电器的基础知识

从结构上看,电器一般都具有两个基本组成部分,即感测部分和执行部分。感测部分是接收外界输入的信号,并通过转换、放大、判断,作出有规律的反应,使执行部分动作,输出相应的指令,实现控制目的。对于电磁式电器,感测部分大都是电磁机构,而执行部分则是触点系统。

1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的重要组成部分之一,它将电磁能转换成机械能,带动触点使之闭合或断开。电磁机构由吸引线圈、铁心(静铁心)、衔铁(动铁心)、铁轭和空气隙等组成。电磁机构中的线圈、铁心是静止不动的,只有衔铁是可动的。

一、电磁机构的分类

根据磁路的形状和衔铁运动方式的不同,以及线圈接入电路的方式不同,电磁机构可分成多种形式和类型。不同形式和类型的电磁机构可构成多种类型的电磁式电器。

1. 按磁路形状和衔铁运动方式分

① U形拍合式

铁心制成U字形,而衔铁的一端绕棱角或转轴做拍合运动。图1.2.1(a)表示铁心和衔铁均由工程软铁制成而衔铁绕棱角运动,此种形式的电磁机构广泛用于直流电磁式电器(如直流接触器和直流继电器)中。图1.2.1(b)表示的铁心和衔铁均由电工钢片叠成而衔铁绕转轴转动,此种形式的电磁机构广泛用于交流电磁式电器中。

② E形拍合式和E形直动式

铁心和衔铁均制成E字形,且均由电工钢片叠成,线圈套装在中间铁心柱上。这两种形式的电磁机构均用于交流电磁式电器中。E形拍合式如图1.2.1(c)所示,广泛用于60A及其以上的交流接触器中。E形直动式如图1.2.1(d)所示,该种形式的电磁机构广泛用于40A以下的交流接触器和交流电压继电器、中间继电器及时间继电器中。

③ 空心螺管式

这种电磁机构只有线圈和圆柱形衔铁而无铁心,衔铁在空心线圈内做直线运动,如图1.2.1

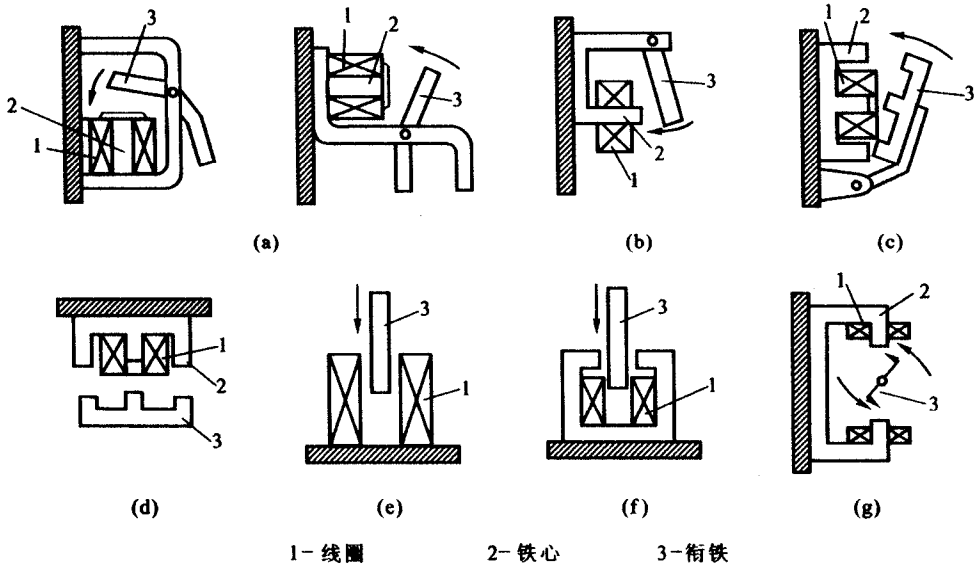


图 1.2.1 常用电磁机构的形式

(e)所示。主要用于交流电流继电器和供电系统用的时间继电器中。

④ 装甲螺管式

在空心线圈的外面罩以用导磁材料制成的外壳，而圆柱形衔铁在空心线圈内做直线运动，如图 1.2.1(f)所示。常用于交流电流继电器中。

⑤ 回转式

铁心制成 C 字形，且用电工钢片叠成，两个可串接或并接的线圈分别绕在铁心开口侧的铁心柱上，而衔铁是 Z 形转子，如图 1.2.1(g)所示。这种机构应用于供电系统的电流继电器中。

2. 按线圈接入电路方式分

① 串联电磁机构

电磁机构的线圈串接于电路中，如图 1.2.2(a)所示。按电路的电流种类又可分为直流串联电磁机构和交流串联电磁机构。串联电磁机构的衔铁动作与否取决于线圈中电流的大小，而衔铁的动作不会引起线圈中电流的变化。这种接入方式的线圈又称为电流线圈，具有这种电磁机构的电器都属于电流型电器。为了不影响电路中负载的端电压和电流，要求线圈的内阻很小，因此，串联电磁机构的线圈导线截面积较粗，且线圈匝数较少。

② 并联电磁机构

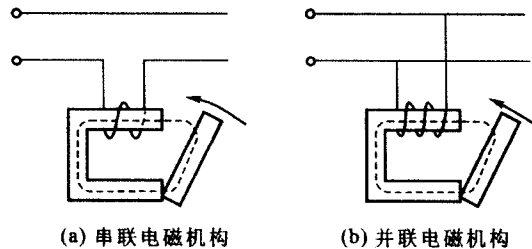


图 1.2.2 电磁机构中线圈接入电路的方式

电磁机构的线圈并接于电路中,如图 1.2.2(b)所示。按电路的电流种类分为直流并联电磁机构和交流并联电磁机构。并联电磁机构的衔铁动作与否取决于线圈两端的电压大小,这种接入方式的线圈又称为电压线圈,具有这种电磁机构的电器均属于电压型电器。直流并联电磁机构的衔铁动作不会引起线圈中电流的变化,但对于交流并联电磁机构,其衔铁的动作会引起线圈阻抗的变化,从而会引起线圈中电流的变化。由实验得知,对于 U 形电磁机构,衔铁打开时线圈中电流值为衔铁闭合后的 6~7 倍,E 形电磁机构可达 10~15 倍。而线圈的允许电流值是按衔铁闭合后的电流值设计的,所以一旦线圈有电而衔铁由于某种原因闭合不上或频繁操作时,线圈易过热乃至烧坏,这也是交流电压型电器比直流电压型电器易损坏的原因之一。

二、电磁机构的特性

电磁机构的工作情况常用吸力特性和反力特性来表征,二者间的配合关系将直接影响电磁式电器的工作可靠性。

电磁机构的吸力与气隙的关系曲线称为吸力特性,它随励磁电流种类(交流或直流)、线圈的连接方式(串联或并联)的不同而有所差异。电磁机构转动部分的静阻力与气隙的关系曲线称为反力特性,阻力的大小与作用弹簧、摩擦阻力以及衔铁重量有关。下面分析吸力特性、反力特性和两者的配合关系。

1. 电磁机构的吸力特性

当电磁机构的气隙 δ 较小,磁通分布比较均匀时,电磁机构的吸力 F_{at} 可近似地按下式求得:

$$F_{at} = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S \quad (1.2.1)$$

式中 $\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6} \text{H/m}$ (空气导磁系数);

S ——极靴面积。

当 S 为常数时, F_{at} 与 B^2 成正比。

对于具有电压线圈的直流电磁机构,因为外加电压和线圈电阻不变,则流过线圈的电流为常数,与磁路的气隙大小无关。根据磁路定律

$$\Phi = \frac{I \cdot N}{R_m} \propto \frac{1}{R_m} \quad (1.2.2)$$

则

$$F_{at} \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m}\right)^2$$

根据式(1.2.1)不难推出吸力 F_{at} 与气隙 δ 间的关系为

$$F_{at} = \frac{1}{2} (IN)^2 \mu_0 S \frac{1}{\delta^2} [\text{N}] \quad (1.2.3)$$

由式(1.2.3)可见吸力 F_{at} 与气隙 δ^2 成反比,故吸力特性为二次曲线形状,如图 1.2.3 所示。它表明衔铁闭合前后吸力变化很大。

对于具有电压线圈的交流电磁机构,其吸力特性与直流电磁机构有所不同。设外加电压不变,交流吸引线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗,电阻可忽略,电阻压降也可忽略,则

$$U (\approx E) = 4.44 f \Phi N \quad (1.2.4)$$

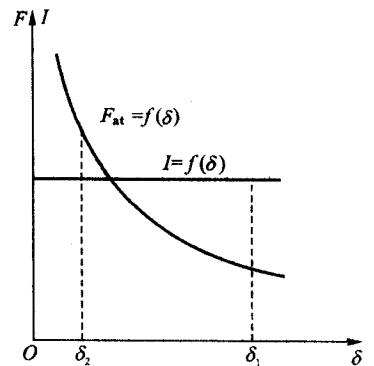


图 1.2.3 直流电磁机构的吸力特性

$$\Phi = \frac{U}{4.44fN} \quad (1.2.5)$$

当频率 f 、匝数 N 和电压 U 均为常数时, Φ 为常数, 由式(1.2.1) 知, F_{at} 亦为常数, 说明 F_{at} 与 δ 大小无关。实际上考虑到漏磁的作用, 吸力 F_{at} 随气隙 δ 的减小略有增加, 如图 1.2.4 所示。

对于交流并联电磁机构, 当线圈的外加电压不变时, 线圈的阻抗随着气隙的改变而改变, 所以线圈中的电流也改变。气隙大时, 线圈电流也大, 反之则小。当气隙变化时, 电流 I 与气隙 δ 成线性关系, 如图 1.2.4 所示。

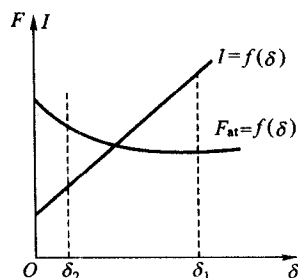


图 1.2.4 交流电磁机构的吸力特性

由以上分析可以看出, 直流电磁机构的吸力与气隙的平方成反比, 而交流电磁机构的吸力与气隙的大小无关。因此, 直流电磁机构的吸力特性比交流电磁机构的吸力特性要陡。

2. 电磁机构的反力特性

在忽略电磁机构运动部件重力的情况下, 电磁机构的反力主要由释放弹簧和触点弹簧的反力构成, 用 F_r 表示。由于弹簧的作用力与其长度成线性关系, 所以反力特性曲线都是直线段, 如图 1.2.5 中的曲线 3 所示。 δ_1 为气隙的最大值, 此时对应的动、静触点之间的距离称为触点开距, 也叫触点行程。它的全称是触点断开距离。在衔铁闭合过程中, 当气隙由 δ_1 开始减小时, 反力逐渐增大, 如曲线 3 中的 ab 段所示, 这一段为释放弹簧的反力变化。到达气隙 δ_2 位置时, 动、静触点刚刚接触, 由于触点弹簧预先被压缩了一段, 因而当动、静触点刚刚接触时, 由触点弹簧产生一个压力, 称为初压力, 此时初压力作用到衔铁上, 反力突增, 曲线也突变, 如曲线 3 中的 bc 段所示, 这一段为触点弹簧的初压力。当气隙由 δ_2 再减小时, 释放弹簧与触点弹簧同时起作用, 使反力变化增大。气隙越小触点压得越紧, 反力越大, 线段较 $\delta_1 \sim \delta_2$ 段陡, 如曲线 3 的 cd 段所示。

触点弹簧压缩的距离称为触点的超行程, 即从静、动触点, 刚开始接触到触点压紧而动触点向前压紧的距离。触点完全闭合后动触点已不再向前运动时的触点压力称为终压力。

由以上分析可以看出, 气隙减小的过程就是触点闭合的过程。开距、超行程、初压力、终压力是触点的四个主要参数。开距是为保证断开电弧和在规定的试验电压下不被击穿; 超行程是保证触点可靠地接触所必不可少的; 初压力主要是限制并防止触点在刚接触时发生的机械振动; 终压力是保证触点在闭合状态下接触电阻较小(详见 1.2.2 中的有关内容), 使触点温升不超过允许值。

改变释放弹簧的松紧, 可以改变反力特性曲线的位置, 若将释放弹簧扭紧, 则反力特性曲线上移; 若将释放弹簧放松, 则反力特性曲线平行下移。

3. 电磁机构的吸力特性与反力特性的配合

吸力特性与反力特性适当配合的宗旨是在保证衔铁产生可靠吸合动作的前提下, 尽量减少衔铁和铁心柱端面间的机械磨损和触点的电磨损。为此, 反力特性曲线应在吸力特性曲线的下方且彼此靠近, 如图 1.2.5 所示。如果反力特性曲线在吸力特性曲线的上方, 这时衔铁无法产生闭合动作, 尤其是对于交流并联电磁机构, 由于衔铁无法吸合而导致线圈严重过热乃至烧坏。如果反力过小, 则反力特性曲线远离吸力特性曲线的下方, 这时衔铁虽然能产生闭合动作, 但由于吸力过大, 使衔铁闭合时的运动速度过大, 因而会产生很大的冲击力, 使衔铁与铁心柱端面造成严重的机械磨损。此外, 过大的冲击力有可能使触点产生弹跳现象, 从而导致触点的熔焊或烧

损,也会引起严重的电磨损,降低触点的使用寿命。为此,可以通过改变释放弹簧的松紧来实现吸力特性与反力特性的适当配合。

4. 单相交流电磁机构的吸力

交流电磁机构按所接入电路的类型分单相和三相两种,在电力拖动控制系统中所用的交流电磁式电器都采用单相交流电磁机构。

在单相交流电磁机构中,由于外加正弦交流电压,所以其气隙磁感应强度是按正弦规律变化的,即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1.2.6)$$

将式(1.2.6)代入式(1.2.1)中,经过整理得电磁吸力的公式为:

$$F_{at} = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t \quad (1.2.7)$$

式中: F_m ——电磁吸力最大值

$$F_m = \frac{1}{2\mu_0} B_m^2 S$$

电磁吸力的平均值为:

$$F_0 = \frac{1}{T} \int_0^T F_{at} dt = \frac{1}{2} F_m \quad (1.2.8)$$

则式(1.2.7)可写为

$$F_{at} = F_0 (1 - \cos 2\omega t) \quad (1.2.9)$$

由式(1.2.9)可知,交流电磁机构的电磁吸力是一个二倍电源频率的周期性变量。它有两个分量:一个是恒定分量 F_0 ,其值为最大吸力值的一半;另一个是交变分量 $F_0 \cos 2\omega t$,其幅值也为最大吸力值的一半,但以二倍电源频率变化。总的电磁吸力 F_{at} 在从零到 F_m 的范围内变化,如图 1.2.6 所示。

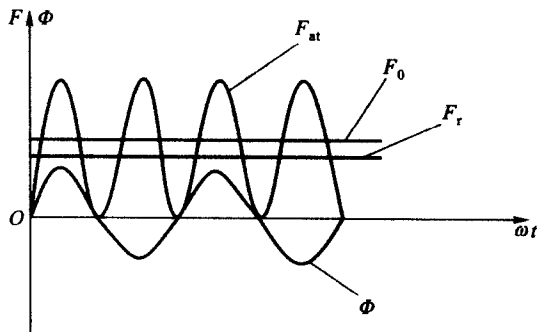
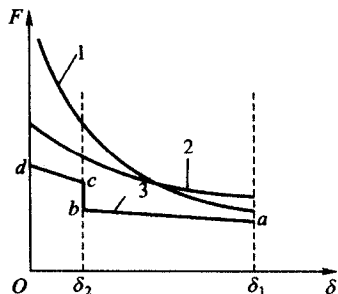


图 1.2.6 交变磁通和它的吸力

交流电磁机构的电磁吸力是随时间变化而变化的。在工作中,决定其能否将衔铁吸住的是平均吸力 F_0 的大小。所以我们通常说的交流电磁机构的吸力,就是指它的平均吸力。

电磁机构在工作中,衔铁始终受到反作用弹簧、触点弹簧等反作用力 F_r 的作用。尽管电磁

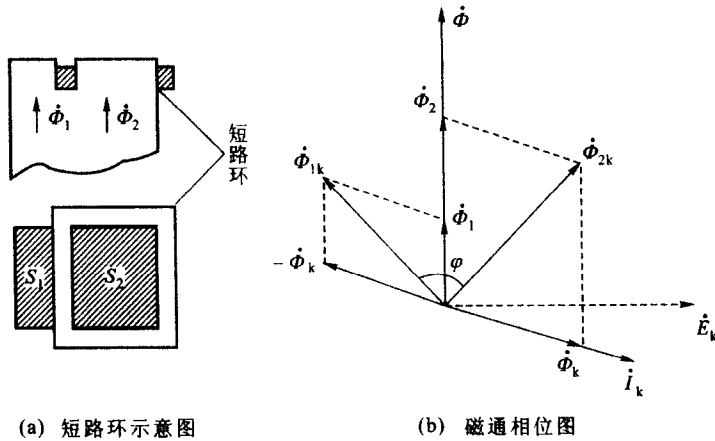


1 - 直流电磁机构的吸力特性
2 - 交流电磁机构的吸力特性
3 - 反力特性

图 1.2.5 吸力特性和反力特性

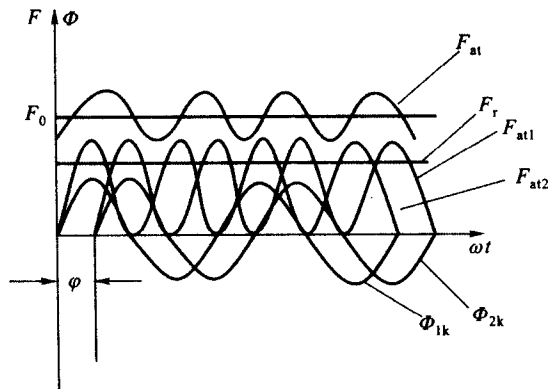
吸力的平均值 F_0 大于 F_r , 但在某些时候 F_{at} 仍将小于 F_r , 如图 1.2.6 所示。当 $F_{at} < F_r$ 时, 衔铁开始释放; 当 $F_{at} > F_r$ 时, 衔铁又被吸合, 如此周而复始, 从而使衔铁产生振动, 发出噪声。振动还会造成电器结构松散、寿命降低, 同时使触点接触不良, 易于熔焊和烧损。因此, 必须采取措施抑制振动和噪声。

由以上分析可知, 只有使电磁机构的吸力 F_{at} 在任何时候都大于反力 F_r , 才有可能消除振动和噪声。为此, 设法将气隙磁通分为两部分, 使它们在相位上错开一个角度 φ , 而且当一个磁通为零时, 另一个磁通恰好为最大或接近于最大。这样, 不论在什么时候, 两磁通产生的电磁吸力都不会同时为零, 而且它们的合力有可能一直大于反力 F_r , 从而消除振动和噪声。具体办法是在铁心端面开一个槽, 槽内嵌以铜环, 称为短路环或分磁环, 如图 1.2.7(a) 所示。交变磁通 $\dot{\Phi}_2$ 穿过分磁环, 在其中产生感应电势 \dot{E}_k , 且 \dot{E}_k 滞后 $\dot{\Phi}_2$ 90° 相位。 \dot{E}_k 在分磁环中产生环流 \dot{i}_k , \dot{i}_k 在闭合处附近又产生磁通 $\dot{\Phi}_k$, 而 $\dot{\Phi}_k$ 与 \dot{i}_k 是同相位但滞后于 \dot{E}_k 一个很小相角, 如图 1.2.7(a)、(b) 所示。



(a) 短路环示意图

(b) 磁通相位图



(c) 电磁吸力图

图 1.2.7 加短路环后的磁通和电磁吸力图

有了 $\dot{\Phi}_k$ 后, 穿过分磁环部分的总磁通为

$$\dot{\Phi}_{2k} = \dot{\Phi}_2 + \dot{\Phi}_k$$

而未穿过分磁环部分的总磁通为

$$\Phi_{1k} = \Phi_1 - \Phi_k$$

可见 Φ_{1k} 与 Φ_{2k} 之间有相角差 φ 存在。也就是说,原来统一于 Φ 的 Φ_1 和 Φ_2 , 在分磁环的作用下变成 Φ_{1k} 和 Φ_{2k} , 且它们不是同相位, 如图 1.2.7(b) 所示。在 Φ_{1k} 和 Φ_{2k} 的作用下, 它们分别产生的吸力为 F_{a1} 和 F_{a2} , 在任何瞬间都不会出现吸力过零, 如图 1.2.7(c) 所示。 F_{a1} 和 F_{a2} 合成的结果, 总吸力 F_{at} 虽然仍是脉动的, 但其最小吸力不再过零了。如果分磁环设计得比较理想, 即 φ 角近似为 90° , 且 F_{a1} 和 F_{a2} 也近似相等, 则总吸力 F_{at} 也就比较平坦。所以, 只要衔铁的反力比最小吸力小, 衔铁就不会产生机械振动现象。

1.2.2 电 接 触

触点是电磁式电器的执行元件, 电器就是通过触点的动作来分合被控制的电路。触点在闭合状态下动、静触点完全接触, 并有工作电流通过时, 称为电接触。电接触情况的好坏将影响触点的工作可靠性和使用寿命。影响电接触工作情况的主要因素是触点的接触电阻, 因为接触电阻大, 易使触点发热而温度升高, 从而使触点易产生熔焊现象, 这样既影响工作的可靠性又降低了触点的使用寿命。触点的接触电阻不仅与触点的接触形式有关, 而且还与接触压力、触点材料及触点表面状况有关。

一、触点的接触形式

触点的接触形式有点接触、线接触和面接触三种, 如图 1.2.8 所示。

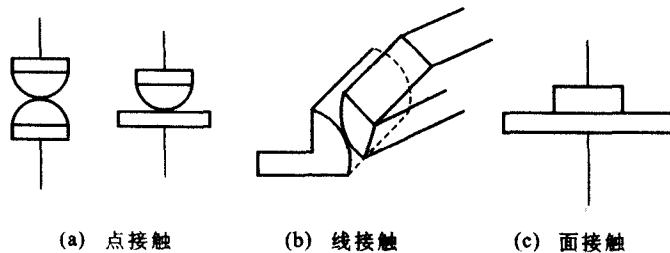


图 1.2.8 触点的三种接触形式

点接触是由两个半球或一个半球与一个平面形触点构成。由于接触区域是一个点或面积很小的面, 允许通过电流很小, 所以它常用于电流较小的电器中, 如继电器的触点和接触器的辅助触点。线接触由两个圆柱面形的触点构成, 又称为指形触点。它的接触区域是一条直线或一条窄面, 允许通过的电流较大, 常用于中等容量接触器的主触点。由于这种接触形式在通断过程中是滑动接触, 如图 1.2.9, 接通时, 接触点由 A—B—C 变化; 断开时, 接触点则由 C—B—A 变化。这样可以自动清除触点表面的氧化膜, 从而更好地保证触点的良好接触。面接触是两个平面形触点相接触, 由于接触区域有一定的面积, 可以通过很大的电流, 常用于大容量的接触器中, 做主触点用。

二、接触电阻

触点有四种工作状态,即:闭合状态、断开过程、断开状态、闭合过程。在理想情况下,触点闭合时其接触电阻为零;触点断开时接触电阻为无穷大;在闭合过程中接触电阻瞬时由无穷大变为零;在断开过程中接触电阻瞬时由零变为无穷大。但实际上,在闭合状态时耦合触点间有接触电阻存在,若接触电阻太大,就可能导致被控电路压降过大或不通;在断开状态时要求触点间有一定的绝缘电阻,若绝缘电阻不足就可能导致击穿放电,致使被控电路导通;在闭合过程中有触点弹跳现象,可能破坏触点的可靠闭合;在断开过程中可能产生电弧破坏触点可靠断开。

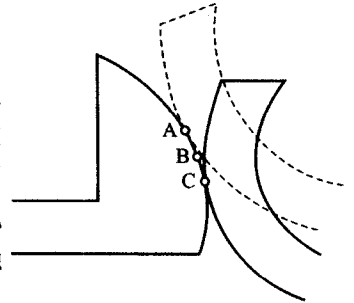


图 1.2.9 指形触点的接触过程

从微观观察,不管触点表面如何光洁,实际上表面总是凹凸不平的,所以两个触点接触时总是由许多斑点接触,如图 1.2.10 所示。

在电接触中,起很大作用的就是所谓的收缩电阻 R_E ,它是由于电流通过真正接触面的微观面(斑点面),导致电力线收缩而产生的,如图 1.2.11 所示。触点表面因各种原因而产生表面膜,表面膜进一步增加触点的接触电阻,这部分增量(电阻)称为表面膜电阻 R_F 。

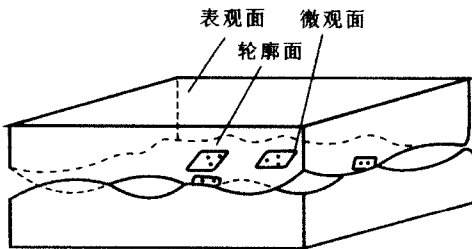


图 1.2.10 触点的接触状态

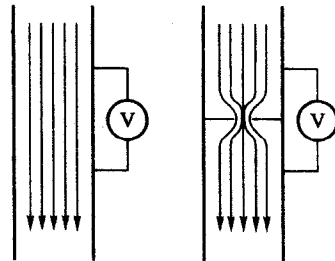


图 1.2.11 收缩电阻

触点电阻 R_k (即接触电阻)就是由收缩电阻 R_E 和表面膜电阻 R_F 的总和组成,即

$$R_k = R_E + R_F$$

因此,实际中应采取相应的措施减小接触电阻。

三、影响接触电阻的因素及其减小方法

前面已经提到,触点表面总是凹凸不平的,电流的导通是经过大量的非均匀分布的微观面而实现的,微观面的尺寸、数目和分布与触点的形状、接触压力、温度、材料性能等有关,其中触点压力是一个非常重要的因素。增加接触压力,可以增加接触面积,使接触电阻减小。为此,在动触点上安装一个触点弹簧,如图 1.2.12 所示。该弹簧预先被压缩了一段,因而产生一个初压力 F_1 ,如图 1.2.12(b)所示。触点闭合后由于弹簧在超行程内继续压缩而产生终压力 F_2 ,如图 1.2.12(c)所示。弹簧压缩的距离 l 为触点的超行程,即从静、动触点刚开始接触到触点向前压紧的距离。有了超行程,触点在有磨损的情况下,仍具有一定的压力,故可使接触电阻减小。当

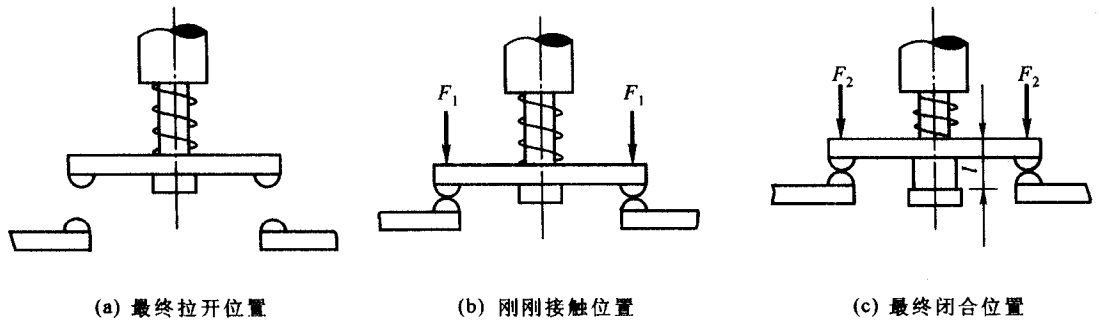


图 1.2.12 触点的位置示意图

触点磨损严重时可以更换触点。

材料的电阻系数越小,接触电阻也越小。在金属中银的电阻系数最小,但银比铜的价格贵,实际中常在铜基触点上镀银或嵌银,以减小接触电阻。

在空气中触点表面会被氧化而形成表面膜电阻,触点温度升高会加速氧化的进程。由于一般金属氧化物的电阻系数均比金属本身大得多,所以一旦金属表面生成氧化物之后,会使接触电阻增大,严重的氧化会使触点间形成绝缘而导致电路不通。银的氧化物电阻系数比纯银大得不是太多,因此,在小容量的电器中可采用银或镀银触点。在大容量电器中,可采用具有滑动作用的指形触点,这样在每次闭合过程中都可以磨去氧化膜,从而让清洁的金属接触面相互接触,以增强触点的导电性。此外,触点上的尘垢也会影响其导电性,因此,当触点表面聚集了尘垢以后,须用无水乙醇或四氯化碳揩拭干净。如果触点表面被电弧烧灼而出现烟熏状,也需按上述方法处理。

1.2.3 电弧的产生和灭弧方法

一、电弧的产生

电弧是在触点由闭合状态过渡到断开状态的过程中产生的。触点的断开过程是逐步进行的,开始时接触面积逐渐减少,接触电阻随之增加,温升随之增加。根据试验,当触点切断电路时,如果电路中电压在 $10 \sim 20 \text{ V}$ 之间,电流在 $80 \sim 100 \text{ mA}$ 之间,触点间便会产生电弧。电弧是气体自持放电形式之一,是一种带电质点(电子或离子)的急流。它的主要特点是外部有白炽弧光,内部有很高的温度和密度很大的电流。

触点分断瞬间,由于间隙很小,电路电压几乎全部加在触点之间,在触点间形成很强的电场,阴极中的自由电子会逸出到间隙中并向阳极加速运动。前进中的自由电子中途碰撞中性粒子(气体分子或原子),使其分裂为电子和正离子,电子在向阳极运动过程中又碰撞其他粒子,这就是碰撞电离。经碰撞电离后产生的正离子向阴极运动,撞击阴极表面并使其温度逐渐升高,当温度达到一定值时,部分电子将从阴极表面逸出并再参与碰撞电离,此时,间隙内产生弧光并使温度继续升高,当弧温达到 $8000 \sim 10000 \text{ K}$ 以后,触点间的中性粒子以很高的速度作不规则的运

动并相互剧烈碰撞,也产生电离,这就是由于高温作用使中性粒子碰撞产生的热电离。上述几种电离的结果,在触点间出现大量的离子流,这就是电弧。电弧形成之后,热电离占主导地位。

电弧一方面烧蚀触点,降低电器寿命和电器工作的可靠性;另一方面会使分断时间延长,严重时会引起火灾或其他事故。因此在电路中应采取适当措施熄灭电弧。

二、常用的灭弧方法和装置

由上述电弧产生的物理过程可知,欲使电弧熄灭,应设法降低电弧温度和电场强度。常用的灭弧装置有:

1. 电动力灭弧

双断点也就是桥式结构的触点,当触点分断时,在左右两个弧隙中产生两个彼此串联的电弧,在电动力 F 的作用下,向两侧方向运动,使电弧受到拉长,如图 1.2.13 所示,在拉长过程中电弧受到空气迅速冷却而很快熄灭。

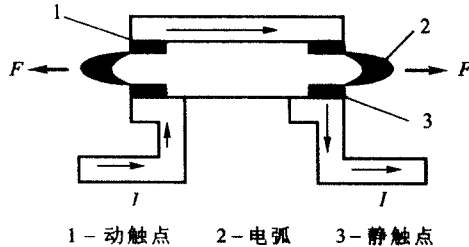


图 1.2.13 电动力灭弧原理图

2. 灭弧栅灭弧

灭弧栅的灭弧原理如图 1.2.14 所示。灭弧栅 3 由多个镀铜薄钢片组成,彼此之间互相绝缘,片间距离为 $2 \sim 3 \text{ mm}$,这些金属片称为栅片,安放在触点上方的灭弧罩(图中未画出)内。一旦产生电弧,电弧周围产生磁场,导磁的钢片将电弧吸入栅片,电弧被栅片分割成许多串联的短电弧,而栅片就是这些短电弧的电极。栅片的作用在于:能导出电弧的热量;由于电弧被分割成许多段,而每一栅片又相当于一个电极,那么也就要有许多个阳极压降和阴极压降。有利于电弧

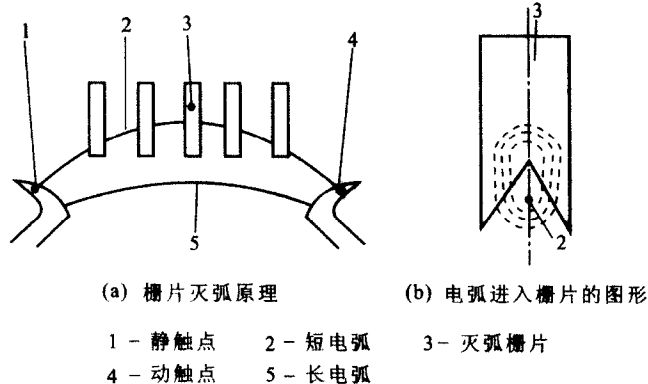


图 1.2.14 灭弧栅灭弧原理